

А. М. Лященко [A. M. Lyashchenko]
В. Г. Рубан [V. G. Ruban]
С. А. Хачкинаян [S. A. Nachkinayan]

УДК 004.89

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ

HYBRID RESOURCE FORECASTING SYSTEM FOR BANDAGE OF LOCOMOTIVE WHEELS

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
Ростов-на-Дону, e-mail: ruban-vg@yandex.ru

Аннотация. Цифровые технологии проникли во все отрасли и направления науки.

Рассмотрены вопросы организации системы поддержки принятия решений при управлении содержанием железнодорожных колес.

Материалы и методы, результаты и обсуждения. Увеличение пробега локомотива между обточками является актуальной задачей определяющей снижение затрат на ремонт и повышающей ресурс бандажей колес. Для решения этой задачи применяются рациональные профили колес, методы лубрикации гребней колес и ряд других технических решений, а также организация управления профилями колес. Исследования на математических моделях позволяют определить влияние различных факторов на интенсивность износа при различных профилях колес, для различных участков эксплуатации. Рассматривается проблема обработки данных состояния колес как временного ряда с целью прогнозирования ресурса бандажей колес локомотива. Предлагается использование гибридных нейросетевых алгоритмов и базы данных о состоянии колес в эксплуатации.

Заключение. Использование перспективных автоматических систем измерения состояния и профиля колес является основой для построения системы поддержки принятия решений при эксплуатации и обслуживании бандажей колес локомотивов.

Интеллектуальная обработка данных мониторинга может быть организована в существующей многоуровневой информационной системе при дополнении электронного паспорта локомотива блоком состояния колесных пар.

Ключевые слова: профиль колеса, ресурс бандажей колес, моделирование, принятие решений, гибридная нейронная сеть.

Abstract. Digital technologies have penetrated into all branches and directions of science.

The issues of organization of decision support system in the management of the content of railway wheels are considered.

Materials and methods, results and discussions. Increasing the mileage of the locomotive between the turns is an urgent task that determines the reduction of repair costs and increases the resource of the wheel bands. To solve this problem, rational wheel profiles, methods of lubrication of wheel ridges and a number of other technical solutions are used, as well as the organization of wheel profiles management. Researches on mathematical models allow to define influence of various factors on intensity of wear at various profiles of wheels, for various sites of operation. The problem of wheel condition data processing as a time series in order to predict the resource of locomotive wheel bandages is considered. The use of hybrid neural network algorithms and a database on the state of the wheels in operation is proposed.

Conclusion. The use of advanced automatic systems for measuring the condition and profile of wheels is the basis for building a decision support system for the operation and maintenance of locomotive wheel bands.

Intelligent processing of monitoring data can be organized in the existing multi-level information system in addition to the electronic passport of the locomotive wheelset status unit.

Key words: wheel profile, resource of wheel bandages, modeling, decision making, hybrid neural network.

Введение. Цифровизация экономики дает мощный импульс развитию систем накопления информации и методов ее обработки в интересах различных отраслей и компаний. Это позволяет использовать универсальные, апробированные алгоритмы сетевых систем, получить новое качество – системы поддержки принятия решений. Такой подход необходим при планировании ремонта по текущему состоянию конструкций, работающих

в сложных изменяющихся условиях. К таким конструкциям относятся железнодорожные локомотивы и их колесные пары.

Колесные пары во многом определяют безотказный межремонтный пробег локомотивов. Во время плановых технических осмотров (ТО) выявляют неисправности колесных пар, проводят замеры основных геометрических параметров профилей колес и контролируют предельные размеры. К ним относятся: толщина бандажа, высота гребня бандажа или прокат по кругу катания, толщина гребня, крутизна гребня. Для этих параметров установлены предельные значения, которые определяют необходимость обточки.

Увеличение пробега локомотива между обточками является актуальной задачей определяющей снижение затрат на ремонт и повышающей ресурс бандажей колес. Для решения этой задачи применяются рациональные профили колес, методы лубрикации гребней колес и ряд других технических решений, а также организация управления профилями колес [1, 2]. Управление профилем в эксплуатации включает вопросы поддержания базы данных по замерам геометрии и состояния колес, прогнозирования износа и принятие решений по обточке колес. Технологический износ или потеря металла при восстановлении профиля колес во многом зависит от развития эксплуатационного износа. Повысить эффективность мероприятий по увеличению ресурса бандажей колес можно на основе применения профиля, максимально приспособленного для конкретного депо, при постоянном мониторинге его эффективности.

Требования к системе прогнозирования. Исследования на математических моделях позволяют определить влияние различных факторов на интенсивность износа при различных профилях колес, для различных участков эксплуатации [3].

Изменение внешних воздействий в значительной мере влияют на условия взаимодействия колеса и рельса. Большое количество случайных факторов, действующих на различных участках эксплуатации, в значительной мере размывают результаты моделирования, снижают эффективность рекомендаций.

Существуют рекомендации по оценке эксплуатационного и технологического износа, и прогнозированию ресурса колес [4]. Показано, что значения контролируемых параметров являются случайными, и для получения достоверных результатов выборки исходных данных должны быть достаточно представительными. Как следствие, в настоящее время используются приближенные оценки, основанные на линейных статистических моделях. Представляется актуальным развитие автоматизированных систем измерения увеличивающих точность и частоту получения данных. Это приводит к необходимости разработки новых подходов и методов обработки информации о состоянии объекта.

Взаимодействие колес и рельсов следует рассматривать как нелинейную трибодинамическую систему, работающую под воздействием изменяющихся во времени внешних факторов. В данной системе существуют как «быстрые» процессы, связанные с динамикой взаимодействия, так и «медленные», определяемые износом колес и рельсов, изменением внешних факторов и накоплением изменений в системе.

Точное описание и прогнозирование влияния «быстрых» процессов ограничено большой размерностью дискретной динамической системы и многообразием взаимосвязанных факторов, влияющих на состояние подсистемы «колесо – рельс» и эволюцию профиля колеса. Построение системы поддержки принятия решений должно основываться на следующих показателях [5]:

- обеспечение устойчивости движения в прямых участках;
- минимизация сил динамического взаимодействия гребня колеса и рельса в прямых и кривых участках пути;
- минимизация скольжения колес в кривых участках;
- сохранение конфигурации профиля колеса в течение достаточно длительной эксплуатации.

Управление профилями колес на конкретном полигоне эксплуатации представляет собой получение рекомендаций для поддержания заданного профиля колес и технологии восстановления профиля в процессе обточек.

Различное начальное состояние колес локомотива и различные условия их взаимодействия с рельсами приводят к необходимости рассмотрения поведения объекта как динамической слабоформализованной системы и выработки диагностических признаков для построения решающих правил [6, 7]. В классической постановке процесс изнашивания имеет нелинейную зависимость от времени с выраженными периодами: а) приработка, б) умеренный износ, в) увеличение усталостного износа и накопление повреждений. Задача определения остаточного ресурса колеса сводится к распознаванию условий изнашивания и прогнозированию интенсивности износа отдельных участков профиля колеса.

В разрабатываемой подсистеме анализ эволюции профиля колес проводится на основе регулярных измерений колес, получаемых автоматическими средствами измерения. Полученные замеры координат профиля для i -го замера подвергаются предварительной обработке для снижения ошибок измерений и построение аппроксимирующих функций. Для улучшения вычислительных алгоритмов рационально использовать сглаженные сплайн-функции, описывающих профиль колеса [8].

Замеры и показатели состояния колеса образуют вектор данных M_i для i -го замера. Данные для каждой колесной пары имеют привязку к локомотиву и соотносятся с базой данных показателей его работы и времени постановки на обточку и ремонт. Данные дополняются длительностью работы, пробегом локомотива, выявленными неисправностями.

Набор данных $[M_0, M_1, \dots, M_i]$ образуют временной ряд, в результате обработки которого определяются показатели, предназначенные для использования в системе управления и принятия решений с целью снижения износа и продления срока службы бандажей колесных пар.

Экспертные оценки, основанные на определении весовых коэффициентов событий [9], требуют дополнительные данные и предполагают повторяемость ситуаций [10]. В качестве эффективного подхода к анализу и прогнозированию нелинейных систем используются нечеткие множества и искусственные нейронные сети (ИНС), дающие общий подход к решению многих нестандартных задач. Для обучения ИНС и масштабирования влияния динамических процессов при эксплуатации локомотива на различных участках применимы дискретные математические модели. Это позволяет выявить колеса с наибольшей интенсивностью износа и формоизменения, влияющие на пробег локомотива до обточки или замены колесных пар.

Структура системы поддержки принятия решений. В предлагаемой системе принят самообучающийся алгоритм [11, 12], что позволяет создать систему прогнозирования ресурса и выработать решающие правила для формирования профиля колеса при обточке.

Система гибридных моделей прогнозирования состоит из комплекса регрессионных моделей и совокупности интеллектуальных моделей, в том числе ИНС, деревьев решений и др. Регрессионные модели включают системы регрессионных уравнений, описывающих поведение прогнозных показателей.

Предварительный прогноз износа рассчитывается с использованием детерминированных моделей, описывающих динамику взаимодействия в характерных участках пути, с использованием аппроксимированного профиля колеса, построенного по замеренным точкам профиля колеса.

Коррекция осуществляется на основе анализа временного ряда предыдущих замеров, описывающих изменение интенсивности износа различных участков колеса. Это позволяет рассматривать данные автоматизированной системы мониторинга колес локомотивов как основу для построения современной системы анализа состояния и прогнозирования ресурса колес, включая систему поддержки принятия решений (СППР).

В основе работы алгоритма ИНС заложены принципы обучения системы. ИНС относятся к классу аппроксиматоров и «черных ящиков», аппроксимирующих некоторые заданные функции. Процесс аппроксимации заключается в подборе весовых коэффициентов при обучении ИНС. В качестве дополнительной информации используются результаты дискретных моделей.

Выходные переменные системы содержат показатели работы, влияющие на принятие управляющих решений:

- удельные показатели выполненной работы;
- прогноз работы каждого колеса;
- прогноз пробега локомотива до ближайшей обточки;
- рекомендации по обточке (полная или частичная);
- задание на изменение конфигурации профиля (тип профиля, условия и режим обточки);
- показатели ресурса колеса;
- экономические показатели депо.

Встраивание СППР в технологию прогнозирования ресурса колесных пар и управление профилем колес показано на рис. 1.

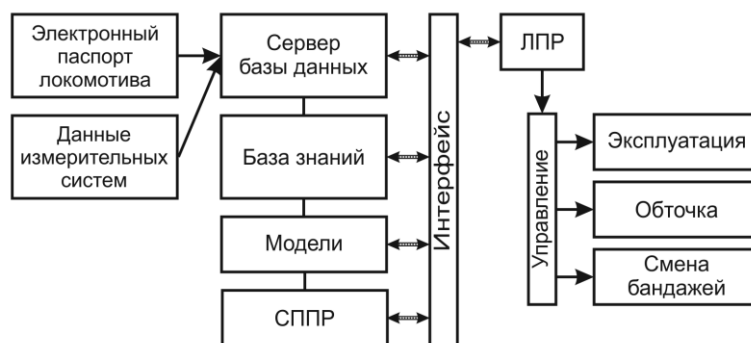


Рис. 1. Структурно-логическая схема интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении содержанием колес

Обязательным и первоочередным этапом создания универсального интеллектуального комплекса для решения задач автоматизации диагностирования и управления профилем бандажа является разработка и внедрение в электронный паспорт локомотива блока показателей состояния колесных пар.

В хранимой базе данных необходимо предусмотреть формирование состава и перечня:

- унифицированных типов объектов (типов профилей);
- состояний каждого объекта;
- унифицированных диагностических ситуаций (прокат, подрез, ползун и ряд других);
- унифицированных параметров измерений;
- условно-графических изображений контролируемых и диагностируемых объектов.

Система СППР направлена на снижение трудоемкости анализа состояния объекта управления и повышение эффективности работы лица принимающего решения (ЛПР). В проектируемой системе постоянно должен происходить информационный обмен между уровнями, предъявляться единые требования к протоколам обмена данными, что однозначно гарантирует понимание терминов, используемых в проектах, разделах «Техническое обеспечение» и «Информационное обеспечение», состав и содержание базы данных (БД).

В процессе обмена в каждый момент времени объект характеризуется состоянием, набором диагностических ситуаций и набором значений параметров, при этом каждый диагностируемый объект (бандаж) относится к некоторому унифицированному типу схожему по функциональному назначению.

Решение задачи универсальности комплекса для решения задач автоматизации диагностирования и управления профилем бандажа предполагает достижение его интеллектуальных возможностей во всех трех режимах использования. Концепция достижения интеллектуальной поддержки принятия решений основывается на создании базы знаний (БЗ) в ее классическом понимании [13], взаимодействующей с БД.

Дополнение структуры комплекса сервером базы знаний (БЗ) предусматривает использование правил-продукций для интеллектуальной поддержки режимов функционирования:

- автоматизации диагностирования с передачей информации об обмере с последующей ее обработкой;
- информатизации технологических процессов с автоматической идентификацией нештатных ситуаций и прогнозирование брака;
- управления технологическим процессом – принятия решений по выбору вариантов с соответствующими параметрами при передаче подвижного состава: эксплуатация, обточка, смена бандажей.

Заключение. Установлена необходимость разработки системы мониторинга состояния колесных пар и замера профиля колес.

Использование перспективных автоматических систем измерения состояния и профиля колес является основой для построения системы поддержки принятия решений при эксплуатации и обслуживании бандажей колес локомотивов.

Интеллектуальная обработка данных мониторинга может быть организована в существующей многоуровневой информационной системе при дополнении электронного паспорта локомотива блоком состояния колесных пар.

Система поддержки принятия решений с целью прогнозирования ресурса бандажей колес разрабатывается с использованием гибридных искусственных нейронных сетей и адаптивных алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Перевод с англ. / У. Харрис, С. М. Захаров и др. М.: Интекст, 2002. 408 с.
2. Богданов В. М., Жаров И. А., Захаров С. М. Решение проблем управления профилями колес и рельсов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 2. С. 42-48.
3. Захаров С. М., Ромен Ю. С. Математическое моделирование влияния параметров пути и подвижного состава на процессы изнашивания колеса и рельса // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 26-30.
4. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава. М.: УМЦ ЖДТ, 2010. 224 с.
5. Рубан В. Г., Матва А. М. Построение конформных профилей электровозного колеса и рельса // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 314-317.
6. Цуриков А. Н., Гуда А. Н., Карсян А. Ж. Теоретические основы интеллектуализации решения задач классификации в слабоформализуемых предметных областях // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 1. С. 90-93.
7. Lyashchenko A., Ruban V., Lyashchenko Z. The Hybrid Model of the Weakly Formalized Dynamic Process Based on the Fuzzy Production System // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. V. 679. P. 276-285.
8. Рубан В. Г., Матва А. М. Методы аппроксимации профиля колеса // Транспорт: наука, образование, производство. РГУПС, 2017. С.241-244.
9. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.
10. Рубан В. Г., Матва А. М. Вопросы принятия решений при управлении состоянием профилей колес подвижного состава // Транспорт: наука, образование, производство труды международной научно-практической конференции. РГУПС. Ростов-на-Дону, 2016. С. 138-141.
11. Ярушев С. А., Федотова А. В. Разработка гибридной модели прогнозирования временных характеристик на основе нечетких когнитивных карт и нейро-нечетких сетей в управлении жизненным циклом изделия // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2018. № 3. С. 47-55.
12. Афанасьева Т. В. Моделирование нечетких тенденций временных рядов. Ульяновск: УлГТУ, 2013. 215 с.
13. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.

REFERENCES

1. Obobshchenie peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolesa i rel'sa: Perevod s angl. / U. Kharris, S. M. Zakharov i dr. M.: Intekst, 2002. 408 s.
2. Bogdanov V. M., Zharov I. A., Zakharov S.M. Reshenie problem upravleniya profilyami koles i rel'sov // Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizмах. 2007. № 2. S. 42-48.
3. Zakharov S. M., Romen Yu. S. Matematicheskoe modelirovanie vliyaniya parametrov puti i podvizhnogo sostava na protsessy iznashivaniya kolesa i rel'sa // Vestnik VNIIZHT. 2010. № 2. S. 26-30.
4. Buynosov A. P. Metody povysheniya resursa kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava. M.: UMTS ZHDT, 2010. 224 s.
5. Ruban V. G., Matva A. M. Postroenie konformnykh profiley ehlektrovoznogo kolesa i rel'sa // Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2014. № 6. S. 314-317.
6. Tsurikov A. N., Guda A. N., Karsyan A. Zh. Teoreticheskie osnovy intellektualizatsii resheniya zadach klassifikatsii v slaboformalizuemyykh predmetnykh oblastiakh // Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2016. № 1. S. 90-93.
7. Lyashchenko A., Ruban V., Lyashchenko Z. The Hybrid Model of the Weakly Formalized Dynamic Process Based on the Fuzzy Production System // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. V. 679. P. 276-285.
8. Ruban V. G., Matva A. M. Metody approksimatsii profilya kolesa // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo. RGUPS, 2017. S. 241-244.
9. Saati T. L. Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti. M.: Izdatel'stvo LKI, 2008. 360 s.
10. Ruban V. G., Matva A. M. Voprosy prinyatiya resheniy pri upravlenii sostoyaniem profiley koles podvizhnogo sostava // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. RGUPS. Rostov-na-Donu, 2016. S. 138-141.
11. Yarushev S. A., Fedotova A. V. Razrabotka gibridnoy modeli prognozirovaniya vremennykh kharakteristik na osnove nechetkikh kognitivnykh kart i neyro-nechetkikh setey v upravlenii zhiznennym tsiklom izdeliya // Programmnye produkty, sistemy i algoritmy. 2018. № 3. S. 47-55.
12. Afanas'eva T. V. Modelirovanie nechetkikh tendentsiy vremennykh ryadov. Ul'yanovsk: UlGTU, 2013. 215 S.
13. Gavrilova T. A., Khoroshevskiy V. F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem. SPb.: Piter, 2000. 384 s.

ОБ АВТОРАХ

Лященко Алексей Михайлович, к.т.н. доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», e-mail: lam75@mail.ru, +7-928-186-06-66

Lyashchenko Aleksey Mikhaylovich, Ph.D., Assistant Professor, Rostov State Transport University,
e-mail: lam75@mail.ru, +7-928-186-06-66

Рубан Владимир Григорьевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», e-mail: ruban-vg@yandex.ru, +7-918-516-54-32

Ruban Vladimir Grigoryevich, Ph.D., Assistant Professor, Rostov State Transport University,
e-mail: ruban-vg@yandex.ru, +7-918-516-54-32

Хачкинаян Степан Аликович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», e-mail: hsa500@yandex.ru, +7-928-156-17-22

Hachkinayan Stepan Alikovich, Senior Lecturer, Rostov State Transport University,
e-mail: hsa500@yandex.ru, +7-928-156-17-22

Дата поступления в редакцию: 10 апреля 2019 г.

После доработки: 21 мая 2019 г.

Дата принятия к публикации: 1 июня 2019 г.